

Modular, pulsed solid state laser with multiple wavelengths - consists of basic alexandrite resonator using fundamental wavelength, after doubling or tripling or after exciting long wavelength resonator

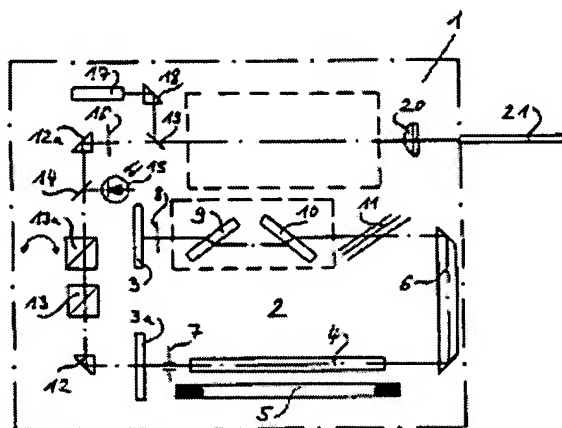
Patent number: DE4029530
Publication date: 1992-03-19
Inventor: STEIGER ERWIN DIPL PHYS (DE)
Applicant: STEIGER ERWIN (DE)
Classification:
 - international: A61B17/22; H01S3/081; H01S3/106; H01S3/115; H01S3/16
 - european: A61B18/22; A61C1/00L; B23K26/06; B23K26/06A; H01S3/08; H01S3/106; H01S3/11; G02B6/42H
Application number: DE19904029530 19900918
Priority number(s): DE19904029530 19900918

Abstract of DE4029530

The modular, pulsed solid state laser features a basic laser and optional modules. The basic laser (2) is a pulsed Cr:Al₂BeO₄ (alexandrite) solid state laser which has a wavelength tunable by an optical filter (11) in the range 720-860 nm. In order to reduce its length the construction features an optically folded (6,3) resonator structure. Ultra-short pulses in this wavelength are formed using a module in which an optical (Q-)switch (9) and equalisation plate (10) are used in the resonator. The output energy level can be continuously adjusted using 2 optical polarisation filters of which one (13) is fixed and one (13a) can be rotated. The output level can be continuously measured (14,15).

A pilot-beam (17) can be projected colinearly via an optical linkage (18,19). A module to change the wavelength to 360-420 or 180-215 nm can be inserted in which a non-linear optical crystal causes frequency doubling or tripling of the basic radiation.

USE/ADVANTAGE - The unit is intended for medical applications where the wavelengths provided cover the majority of applications. It is capable of replacing individual lasers, currently in use, of which some types are more difficult to use and less effective. The wavelengths selected allow both large vol. heating and small area attack to cause either ablation or coagulation of tissues. The basic wavelength (670-820 nm) is inside a low absorption window for tissue. Combination with very short pulses allows overheating of water, explosive evapn. and formation of acoustic waves and shock waves. The IR wavelength selected



encompasses the absorption max. for water
(1.95 micron).

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 40 29 530 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
H 01 S 3/081
H 01 S 3/106
H 01 S 3/115
H 01 S 3/16
A 61 B 17/22

②1 Aktenzeichen: P 40 29 530.3
②2 Anmeldetag: 18. 9. 90
④3 Offenlegungstag: 19. 3. 92

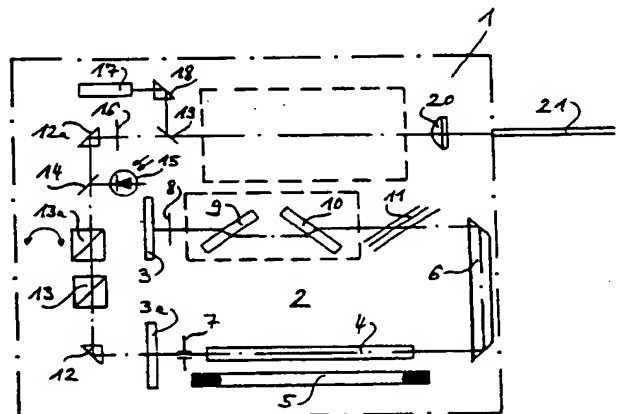
DE 40 29 530 A 1

⑦1 Anmelder:
Steiger, Erwin, Dipl.-Phys., 8038 Gröbenzell, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

⑤4 Modular aufgebauter, gepulster Mehrwellenlängen-Festkörperlaser für medizinische Anwendungen

⑤7 Die bisher verfügbaren medizinischen Festkörper-Lasersysteme sind Monotherapiegeräte, d. h. sie können eine bestimmte Wellenlänge im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Spektralbereich zur Verfügung stellen. Für verschiedene Lasertherapieverfahren sind deshalb unterschiedliche Lasersysteme wie beispielsweise Argon-, Nd:YAG- oder CO₂-Laser erforderlich. Der neue Festkörperlaser vereinigt durch verschiedene Zusatzmodule medizinische Anwendungen wie Koagulieren, Ablatieren und Schneiden von Hart- bzw. Weichgewebe in einem einzigen Lasersystem. Der gepulste Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist aus einem Grundmodul (1) und wahlweise kombinierbaren Zusatzmodulen aufgebaut. Die kohärente Basisstrahlenquelle ist ein abstimmbarer Alexandrit-Lasersoszillator im Wellenlängenbereich von 720-860 nm. Ein Zusatzmodul ermöglicht einen Wellenlängenbereich von 360-430 nm, ein weiteres Zusatzmodul stellt einen Wellenlängenbereich von 1,85-2,16 µm zur Verfügung. Das Festkörper-Lasersystem eignet sich zur laserinduzierten Stoßwellen-Lithotripsie von Harn- und Gallensteinen, zur perkutanen transluminalen Koronarangioplastie, zur perkutanen transluminalen Rekanalisation von atherosklerotisch veränderten Peripheriearterien, sowie zur Wurzelkanalaufbereitung von humanem Zahnmateriail.



DE 40 29 530 A 1

Hintergrund der Erfindung

Die Erfindung bezieht sich auf einen modular aufgebauten, gepulsten Mehrwellenlängen-Festkörperlaser für medizinische Therapieverfahren, insbesondere für endoskopisch — chirurgische Verfahren wie beispielsweise die laserinduzierte Stoßwellen-Lithotripsie von Harn- und Gallensteinen, die perkutane transluminale Koronarangioplastie mittels gepulster Laserstrahlung, die perkutane transluminale Rekanalisation von atherosklerotisch veränderten humanen Peripheriearterien mittels gepulster Laserstrahlung, sowie die Wurzelkanaufbereitung von humanem Zahnmaterial mittels gepulster Laserstrahlung.

In der Vergangenheit wurden Lasersysteme in der Medizin vornehmlich dazu verwendet, Gewebe durch Bestrahlung zu koagulieren (Photokoagulation) bzw. zu verdampfen (Photoablation). Beide Prozesse sind thermischer Natur. Photokoagulation tritt dann ein, wenn im Gewebe die Temperaturerhöhung durch Lichtabsorption hoch genug ist, um Proteine des Gewebes zu denaturieren (42–65°C). In einigen menschlichen Gewebearten genügt bereits eine Temperaturerhöhung von 10–20°C, um diesen Prozeß einzuleiten.

Wird das Licht einer bestimmten Wellenlänge schwach absorbiert, dringt es tiefer in das Gewebe ein, wird mehrfach gestreut und erwärmt das Gewebe durch diffuses Aufheizen. Wird hingegen das Licht einer bestimmten Wellenlänge stark absorbiert, tritt lokal eine sehr schnelle Temperaturerhöhung auf, wenig Licht wird gestreut oder dringt in das Gewebe ein. Das Ergebnis ist eine örtlich scharf definierte Region, bei der Gewebematerial ablatiert wurde mit geringer lateraler Wärmeschädigung. Diese Schädigungszone ist um so geringer, je genauer die einzelnen Parameter der Laserstrahlung wie Pulsenergie, Pulswiederholfrequenz und Wellenlänge an die physikalischen Eigenschaften des bestrahlten Gewebes angepaßt sind.

Wird beispielsweise die Pulslänge der Laserstrahlung in der Größenordnung der thermischen Relaxationszeit des Gewebematerials gewählt, ist es möglich seine Temperaturerhöhung lokal so zu steuern, daß bestimmte chemische oder physikalische Veränderungen initiiert werden, während das umgebende Gewebeareal unterhalb des Schwellwertes einer irreversiblen Veränderung bleibt. Ähnliches gilt für die Wellenlänge des Lasers. Im sichtbaren Spektralbereich sind es vornehmlich Oxyhämoglobin und Melanin, die als natürliche Absorber im Gewebe vorhanden sind. Im ultravioletten Bereich von 200–350 nm dominieren in der Absorption die Proteine und das DNA. Bei Wellenlängen größer als 2 µm (infraroter Spektralbereich) ist die Hauptkomponente des Gewebes, das Wasser, für das Absorptionsverhalten verantwortlich. Im Wellenlängenintervall von 600–1300 nm ist ein physikalisches "Fenster" geringer optischer Absorption. Licht dieser Wellenlänge dringt tief in das Gewebe ein (mehr als einen Zentimeter) und wird stark gestreut.

Wird die Pulslänge des Lasers durch resonatorinterne optische Schalter (Q-Schalter weiter verkürzt (nsec-Bereich), treten zusätzlich mechanische Effekte als Folge laserinduzierter nichtlinearer Prozesse — wie dem optischen Durchbruch — am Gewebe auf, die entweder untergeordneter oder dominierender Art bei der Gewebeablation sein können. Effekte wie Supraerwärmung

von Wasser, explosive Verdampfung und Erzeugung von akustischen Wellen und Stoßwellen treten in Erscheinung.

Da die menschlichen Gewebearten räumlich sehr inhomogen sind, sind die akuten und chronischen biologischen Reaktionen eines mit Laserstrahlung beaufschlagten lebenden Systems von enormer Bedeutung und können in sehr komplexer Weise von den sie initiiierenden mechanischen und thermischen Effekten abhängen.

Aus der Patentschrift US-47 91 927 ist ein Zwei-Wellenlängen-Laserskalpell, das sowohl eine Laserwellenlänge im nahen Infrarot-Spektralbereich als auch eine Wellenlänge im nahen Ultraviolett-Spektralbereich bereitstellen kann, bekannt.

Ferner sind aus der Patentschrift EP-03 39 896 Laserkristalle, die bei einer Anregung mit einer Blitzlampe bei Zimmertemperatur Wellenlängen im Spektralbereich von 1–3 µm durch unterschiedliche Dotierungen des Ausgangsmaterials erzeugen können, bekannt.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen neuen modular aufgebauten, gepulsten Mehrwellenlängen-Festkörperlaser für vornehmlich medizinische Anwendungen — insbesondere endoskopisch-chirurgische Verfahren — bereitzustellen, der abstimmbare Wellenlängen im nahen Infrarot-Spektralbereich, im nahen Ultraviolett-Spektralbereich und Wellenlängen im Infrarot-Spektralbereich ermöglicht.

Zusammenfassung der Erfindung

Erfindungsgemäß wird ein modular aufgebauter Mehrwellenlängen-Festkörperlaser zum Koagulieren, Ablatieren und Schneiden von Hart- und Weichgewebe vorgeschlagen. Das Lasersystem besteht — je nach endoskopisch-chirurgischem Therapieverfahren — aus einer modularen Kombination von Grundmodul und Zusatzmodul(en).

Das Grundmodul beinhaltet als kohärente Strahlenquelle einen hocheffizienten, luftgekühlten Cr : Al₂BeO₄ (Alexandrit)-Laseroszillator mit einem abstimmbaren Wellenlängenbereich von 720–860 nm, einen resonatorinternen optischen Schalter (Q-Schalter), Strahlumlenkelemente, Pulsenergie-Steuerungselemente, eine Pulsenergie-Meßeinrichtung, eine Pilotlichteinkopplung und eine Fokussiereinheit zur Einkopplung der Laserstrahlung in eine optische Glasfaser oder in einen Multifaser-Katheter. In einem freien Raum zwischen Pilotlichteinkopplung und Fokussiereinrichtung können je nach Therapieverfahren Zusatzmodule eingefügt werden. So ermöglicht ein Zusatzmodul einen zweiten Wellenlängenbereich von 360–430 nm, ein anderes Zusatzmodul einen dritten Wellenlängenbereich von 1.85–2.16 µm.

Das Grundmodul ohne optischen Schalter mit einem Wellenlängenbereich von 720–860 nm eignet sich ausgezeichnet zum Koagulieren von Gewebe, da Strahlung dieser Wellenlänge sehr tief in das Gewebe eindringt und diffus gestreut wird. Das Einfügen eines optischen Schalters in den Laserresonator erlaubt die Erzeugung ultrakurzer Pulse hoher Pulsspitzenleistungen, so daß ein laserinduzierter optischer Durchbruch erzeugt werden kann, wenn die durch die optische Faser oder den Multifaser-Katheter geführte Laserstrahlung mit Hart- oder Weichgewebe in Berührung kommt. Da dieser Wellenlängenbereich in das physikalische "Fenster" geringer optischer Absorption des Gewebes bei 600–1300 nm fällt, sind die erzielbaren Hart- und

Weichgewebeeffekte äußerst selektiv, im Gegensatz zu Gewebeeffekten bei Wellenlängen größer als 2 μm , wo nahezu ausschließlich das Absorptionsverhalten des Wassers für Ablations- und Schneideffekte verantwortlich ist. Dies ist besonders vorteilhaft zur natürlichen Unterscheidung zwischen gesundem und pathologisch verändertem Gewebe, das für eine bestimmte Wellenlänge in dem obigen Wellenlängenbereich auch unterschiedliches Absorptionsverhalten zeigt.

Ein erstes Zusatzmodul mit einem Wellenlängenbereich von 360–430 nm eignet sich ausgezeichnet zum Ablatieren und Schneiden von Hart- und Weichgewebe, da in diesem Wellenlängenbereich photochemische Prozesse aktiviert werden, die mit der Absorption von Proteinen und anderen Komponenten verbunden sind. Besonders vorteilhaft ist, daß der Wellenlängenbereich von 360–430 nm in einen Bereich fällt, in dem DNA nicht absorbiert und deshalb genetische Veränderungen vermieden werden. Außerdem werden nichtlineare Prozesse in diesem Wellenlängenbereich mit wesentlich geringerer Pulsenergie initiiert als im sichtbaren Wellenlängenbereich.

Ein weiteres Zusatzmodul mit einem Wellenlängenbereich von 1,85–2,16 μm eignet sich ebenfalls ausgezeichnet zum Schneiden und Ablatieren von Hart- und Weichgewebe, jedoch beruht hierbei das Schneiden und Ablatieren auf der Absorption der Laserstrahlung durch den Wasseranteil des Gewebes (ca. 70–90%). Dieser Prozeß ist im Gegensatz zum obigen Spektralbereich nicht gewebe selektiv, jedoch effizient, da der Wellenlängenbereich von 1,85–2,16 μm vorteilhaft mit einem relativen Absorptionsmaximum von Wasser bei ca. 1,95 μm zusammenfällt.

Der modular aufgebaute Mehrwellenlängen-Festkörperlaser überstreicht somit vorteilhaft alle wichtigen therapeutischen Wellenlängenbereiche der verschiedenen lasermedizinischen Verfahren.

Beschreibung der Zeichnungen

Fig. 1 Schematische Darstellung des Grundmoduls des Mehrwellenlängen-Festkörperlaser zur Erzeugung abstimmbarer Wellenlängen im sichtbaren bzw. nahen Infrarot-Wellenlängenbereich

Fig. 2 Schematische Darstellung des Zusatzmoduls zur Erzeugung abstimmbarer Wellenlängen im nahen Ultraviolett-Wellenlängenbereich

Fig. 3 Schematische Darstellung des Zusatzmoduls zur Erzeugung abstimmbarer Wellenlängen im Infrarot-Wellenlängenbereich

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Die heute verfügbaren medizinischen Lasersysteme – außer dem Farbstofflaser – sind Monotherapiegeräte, d. h. sie können lediglich eine bestimmte Wellenlänge im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Spektralbereich zur Verfügung stellen. Deshalb sind für verschiedene Lasertherapieverfahren unterschiedliche Lasersysteme wie Argon-, Nd : YAG- oder CO₂-Laser erforderlich.

Der Farbstofflaser ist im Vergleich zum Festkörperlaser jedoch funktionsbedingt weniger zuverlässig und groß. Außerdem erfordert die Farbstofflösung eine aufwendige manuelle Handhabung beim Wechsel zu anderen Wellenlängenbereichen, wobei das Lösungsmittel oft toxischer Natur ist. Auch ist die Lebensdauer der Anregungslampe des Farbstofflasers bedingt durch die

kurze Pulslänge der Anregung wesentlich geringer als bei Festkörperlaser systemen. Festkörperlaser wie der Nd : YAG-Laser werden deshalb bevorzugt eingesetzt, weil sie konstruktiv einfacher und leichter zu bedienen sind.

Die Erfindung wird nachfolgend detailliert beschrieben.

Der modular aufgebaute Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist schematisch in Fig. 1 dargestellt. Das Grundmodul 1 beinhaltet einen Laseroszillator 2, der durch die Resonatorspiegel 3 und 3a definiert ist, wobei wenigstens einer (hier 3a) teilreflektierend ist. Das Lasermedium 4 innerhalb der Resonator kavität wird in konventioneller Weise von einer Pumpquelle 5 (gepulst oder cw) angeregt, so daß kohärente Strahlung durch den Spiegel 3a emittiert wird. Der Strahlengang innerhalb des Resonators wird durch ein optisches Umlenkelement 6 gefaltet und durch eine optionale Blende 7 in seiner lateralen Ausdehnung begrenzt. Der Strahlengang innerhalb des Resonators kann durch einen Strahlschalter 8 unterbrochen werden, so daß die Emission der kohärenten Strahlung durch Spiegel 3a verhindert wird. Innerhalb des Resonators befindet sich ferner ein optionaler optischer Schalter 9 (Q-Schalter) aus einem nichtlinearen optischen Material (beispielsweise KDP) und eine optionale optische Ausgleichsplatte 10. Ein Abstimmelement 11, bestehend aus einem Prisma, einem optischen Gitter, einem doppelbrechenden Filter oder ähnlichem, fungiert als Wellenlängenselektor. Über optische Umlenkelemente 12 und 12a wird der durch Spiegel 3a emittierte kohärente Strahl weitergeleitet. Die optische Leistung des Laserstrahlbündels kann über optische Elemente 13 und 13a (Polarisatoren) kontinuierlich eingestellt werden, wobei ein optisches Element (hier 13) fest, das zweite (hier 13a) drehbar ist. Über einen teilreflektierenden Spiegel 14 wird ein geringer Teil des Laserstrahls aus dem Hauptstrahlengang ausgekoppelt und mit einem lichtempfindlichen Element 15 (beispielsweise einer Photodiode) gemessen. Ein Strahlschalter 16 verhindert die Weiterleitung des Strahls während der Einstellphase der gewünschten optischen Leistung. Nach diesem Strahlschalter wird über einen teilreflektierenden Spiegel 19 und einem optischen Umlenkelement 18 ein Pilotstrahl 17, erzeugt durch einen HeNe-Laser oder einer Laserdiode, in den Hauptstrahlengang eingekoppelt. Beide Strahlen werden mit einer optischen Linse 20 auf ein optisches Übertragungsmedium 21, beispielsweise eine optische Glasfaser oder einen Multifaser-Katheter, fokussiert. Die Linse 20 ist so ausgestaltet, daß die fundamentalen als auch die frequenzverdoppelten Wellenlängen auf denselben Punkt oder auf unterschiedliche Punkte fokussiert werden können. Im Falle der frequenzverdoppelten Laserstrahlung ist diese Linse vorteilhaft aus einem Material, das diese Wellenlängen ohne große optische Verluste transmittiert, beispielsweise aus Quarz. Dasselbe gilt auch für das optische Übertragungsmedium 21.

Fig. 2 zeigt schematisch ein erstes Zusatzmodul zur Erzeugung abstimmbarer Wellenlängen im nahen Ultraviolettbereich, das optional in den freien Raum zwischen dem teilreflektierenden Spiegel 19 und der optischen Linse 20 eingefügt werden kann. Das optische Element 22 verschiebt den fundamentalen Wellenlängenbereich des Laseroszillators 2. Dies kann mit einem nichtlinearen Kristall erfolgen, der die Frequenz des einfallenden Laserstrahls verdoppelt (Generator für die 2. Harmonische). Alternativ kann die fundamentale und verdoppelte Frequenz durch Mischung verdreifacht

werden. Diese harmonischen Generatoren (Verdoppler, Verdreifacher) sind standardmäßig verfügbar. Ein weiteres optisches Element 23 (Polarisator) ist drehbar im Hauptstrahlengang so angeordnet, daß damit die Durchlässigkeit der fundamentalen, verdoppelten oder verdreifachten Laserstrahlung zur Einkoppellinse 20 geregelt werden kann. Bei der sogenannten Typ1-Phasen-
anpassung am harmonischen Generator 22 stehen beispielsweise die Polarisationsrichtungen der fundamentalen und frequenzverdoppelten Wellenlängen senkrecht aufeinander, so daß die verschiedenen Wellenlängen durch einen Polarisator 23 getrennt werden können. Die therapeutisch nicht verwendete Laserstrahlung (fundamental oder verdoppelt) kann entweder durch einen Absorber 24 aufgefangen oder über eine optionale Linse 25 in ein weiteres optionales optisches Übertragungssystem 26, beispielsweise eine optische Glasfaser oder einen Multifaser-Katheter, eingekoppelt werden und steht zusätzlich oder wahlweise für weitere Therapieverfahren zur Verfügung. Ohne Polarisator 23 sind die fundamentale und die verdoppelte Laserstrahlung simultan verfügbar. Ein weiteres dispersives optisches Element 27 (Keilplatte) sorgt dafür, daß kleine Winkeländerungen, die bei der Frequenzverdopplung der fundamentalen Laserstrahlung im harmonischen Generator 22 auftreten können, ausgeglichen werden und eine gemeinsame Fokussierung auf denselben Punkt durch die Linse 20 möglich ist.

Fig. 3 zeigt schematisch ein weiteres Zusatzmodul zur Erzeugung von Wellenlängen im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums. Eine optische Linse 28 fokussiert hierbei die fundamentale Laserstrahlung des Laseroszillators 2 auf ein Lasermedium 30, das innerhalb eines weiteren Resonators angeordnet ist, der durch die Spiegel 29 und 29a gebildet wird. Das Lasermedium 30 besteht wahlweise aus einem Tm : YAG (Thulium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : YSGG (Thulium-dotierter Yttrium Scandium Gallium Granat), Tm : Ho : YAG (Thulium, Holmium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Ho : Cr : YAG (Thulium, Holmium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Cr : YAG (Thulium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Er : YAG (Thulium, Erbium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Er : Cr : YAG (Thulium, Erbium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat) oder Nd : Er : Cr : GSGG (Neodym, Erbium, Chrom-dotierter Gadolinium Scandium Gallium Granat) — Laserkristall unterschiedlicher prozentualer Dotierungen.

Ein Resonatorspiegel (hier 29) ist auf der Eintrittsseite transparent für die fundamentale Strahlung des Pumplasers 2, der durch das Abstimmelement 11 so eingestellt ist, daß eine Wellenlänge im Bereich von 700–800 nm emittiert wird (vorzugsweise 785 nm), auf der Austrittsseite maximal reflektierend für die Wellenlängen im Bereich von 1,5–3 µm (vorzugsweise 1,85–2,16 µm). Der zweite Resonatorspiegel (hier 29a) hingegen ist teilreflektierend für den Wellenlängenbereich von 1,5–3 µm (vorzugsweise 1,85–2,16 µm). Ein optionaler optischer Schalter 31 (Q-Schalter) bestehend aus einem nichtlinearen optischen Material (beispielsweise wasserfreies KDP) erlaubt eine weitere Verkürzung der Pulslänge des durch den Pumplaser 2 erzeugten Laserpulses. Dieses Modul kann ebenfalls optional in den freien Raum zwischen dem teilreflektierenden Spiegel 19 und der optischen Linse 20 eingefügt werden. Die optische Linse 20 besteht in diesem Fall vorzugsweise aus einem Material mit geringem Wassergehalt, vorzugsweise aus was-

serfreiem Quarz. Ebenso besteht das optische Übertragungsmedium 21, beispielsweise eine optische Glasfaser oder ein Multifaser-Katheter, aus demselben wasserfreien Quarzmaterial.

Patentanspruch

Modular aufgebauter, gepulster Mehrwellenlängen-Festkörperlaser für medizinische Therapieverfahren, insbesondere für endoskopisch-chirurgische Verfahren wie der laserinduzierten Stoßwellen-Lithotripsie von Harn- und Gallensteinen, der perkutanen transluminalen Koronarangioplastie, der perkutanen transluminalen Rekanalisation von atherosklerotisch veränderten humanen Peripheriearterien, sowie der Kavitäts- und Wurzelkanalaufbereitung von hartem und weichem humanen Zahnmaterial, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- 1) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist aus einem Grundmodul und wahlweise kombinierbaren Zusatzmodulen zusammengesetzt,
- 2) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser besitzt als Grundmodul einen durch ein optisches Filter im Wellenlängenbereich von 720–860 nm abstimmbaren, gepulsten Cr : Al₂BeO₄ (Alexandrit)-Laseroszillator,
- 3) der Alexandrit-Laseroszillator ist zur Verkürzung seiner Baulänge in einer optisch gefalteten Resonatorstruktur aufgebaut,
- 4) der Alexandrit-Laseroszillator enthält als erstes Zusatzmodul einen resonatorinternen optischen Schalter und eine optische Ausgleichsplatte zur Erzeugung ultrakurzer Laserpulse im Nanosekundenbereich im Wellenlängenbereich von 720–860 nm,
- 5) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist in seiner optischen Ausgangsleistung durch eine Kombination von zwei optischen Polarisatoren, wobei ein Polarisator fest, der andere drehbar angeordnet ist, kontinuierlich einstellbar,
- 6) die optische Ausgangsleistung des Mehrwellenlängen-Festkörperlasers ist während des Laserbetriebs kontinuierlich meßbar,
- 7) dem Mehrwellenlängen-Festkörperlaserstrahl ist über ein optisches Umlenkelement ein Pilotlichtstrahl kollinear überlagert,
- 8) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist durch ein weiteres Zusatzmodul im Wellenlängenbereich von 360–430 nm und von 180–215 nm abstimmbar,
- 9) das Zusatzmodul enthält nichtlineare optische Kristalle zur Erzeugung frequenzverdoppelter sowie frequenzverdreifachter Strahlung aus der fundamentalen Alexandrit-Laserstrahlung,
- 10) das Zusatzmodul besitzt einen optischen Polarisator, der drehbar im Hauptstrahlengang so angeordnet ist, daß seine jeweilige Stellung die Durchlässigkeit der fundamentalen, frequenzverdoppelten und frequenzverdreifachten Laserstrahlung regelt,
- 11) das Zusatzmodul besitzt eine Anschlußmöglichkeit für ein optisches Übertragungssystem bestehend aus einer optischen Einzelglasfaser, einem Multiglasfaser-Kathetersystem oder anderen Glasfaserapplikatoren,

- 12) das Zusatzmodul besitzt ein optisch dispersives Element zur Anpassung der Strahllagen der fundamentalen, frequenzverdoppelten und frequenzverdreifachten Laserstrahlung,
- 13) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser ist durch ein weiteres Zusatzmodul im Wellenlängenbereich von 1.85 – 2.16 μm abstimmbar, 5
- 14) das Zusatzmodul besitzt einen Laserresonator bestehend aus zwei Spiegeln, wobei ein Spiegel für die fundamentale Wellenlänge des Alexandrit Laserresonators im Wellenlängenbereich von 720 – 860 nm transparent ist, 10
- 15) der Laserresonator des Zusatzmoduls enthält als Lasermedium einen Kristall aus Tm : YAG (Thulium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Ho : YAG (Thulium, Holmium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Ho : Cr : YAG (Thulium, Holmium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Cr : YAG (Thulium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Er : YAG (Thulium, Erbium-dotierter Yttrium Aluminium Granat), Tm : Er : Cr : YAG (Thulium, Erbium, Chrom-dotierter Yttrium Aluminium Granat) oder Nd : Er : Cr : GSGG (Neodym, Erbium, Chrom-dotierter Gadolinium Scandium Gallium Granat) unterschiedlicher Dotierung der laseraktiven Atome, 15
- 16) der Laserresonator des Zusatzmoduls enthält einen nichtlinearen optischen Schalter zur Erzeugung ultrakurzer Laserpulse im Nanosekundenbereich im Wellenlängenbereich von 1.85 – 2.16 μm , 20
- 17) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser besitzt eine Einrichtung zur Fokussierung der fundamentalen, frequenzverdoppelten und frequenzverdreifachten Laserstrahlung, 25
- 18) der Mehrwellenlängen-Festkörperlaser besitzt eine Anschlußmöglichkeit für ein optisches Übertragungssystem bestehend aus einer optischen Einzelglasfaser, einem Multi-glasfaser-Kathetersystem oder anderen Glasfaserapplikatoren. 30

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

45

50

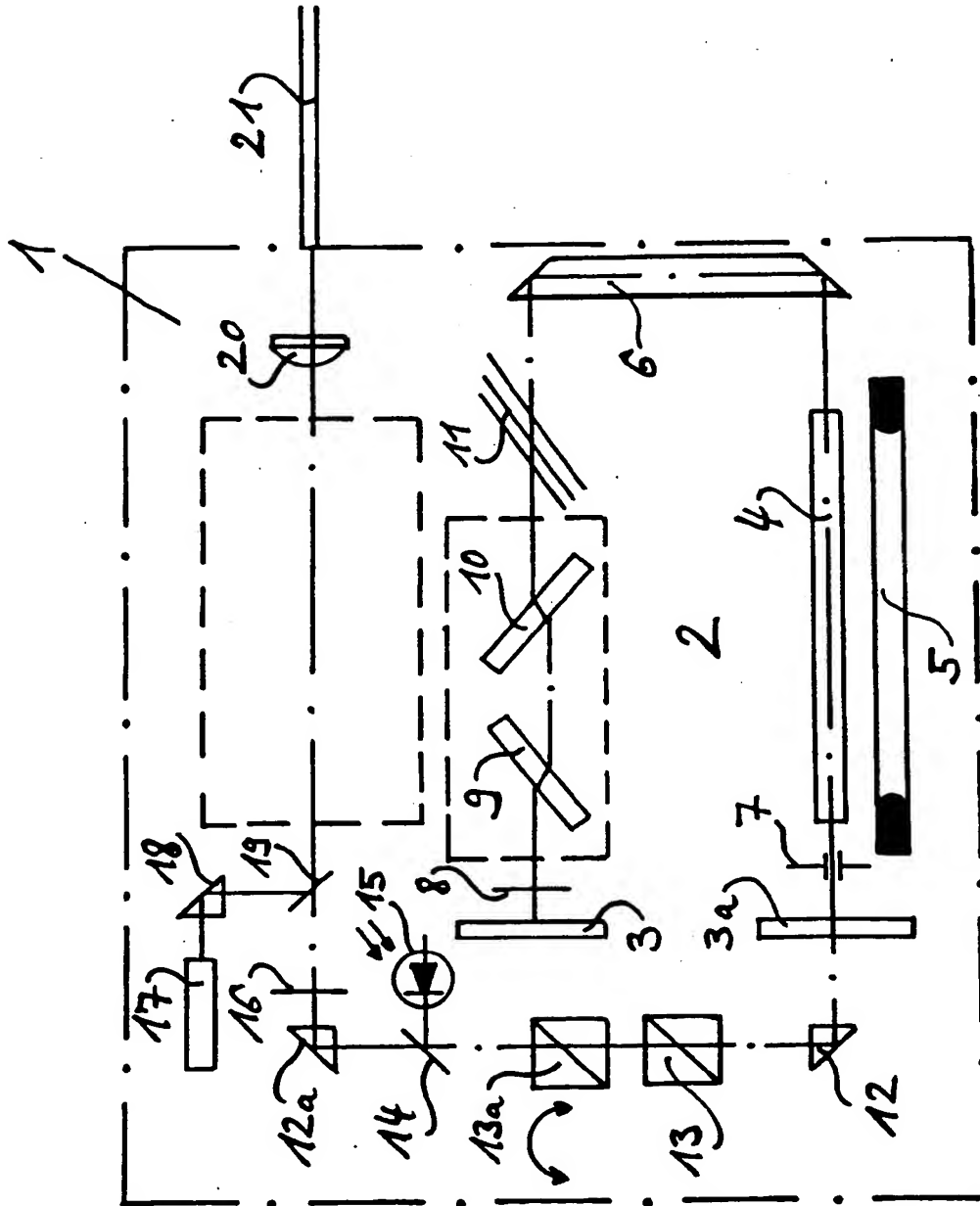
55

60

65

— Leerseite —

Fig 1



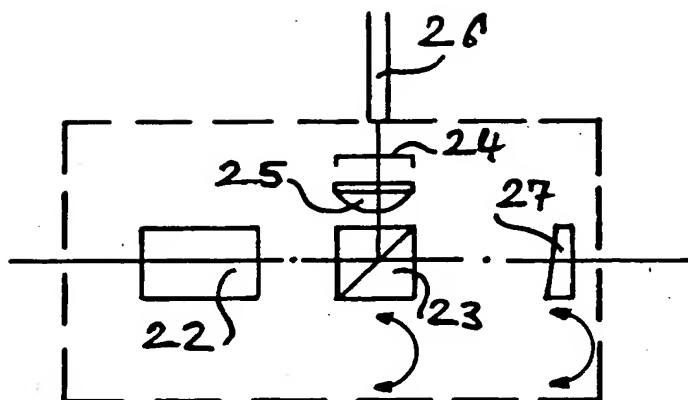


Fig 2

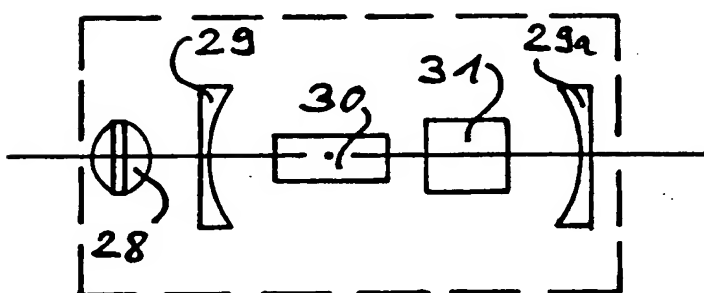


Fig 3